

КИСЕЛЬНИКОВ Андрей Юрьевич

**СТРУКТУРНО-ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ И ТЕПЛООБМЕН В
ПРЯМОТОЧНЫХ ГАЗОВЫХ ИМПАКТНЫХ СТРУЯХ И
ФАКЕЛАХ**

Специальность 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2010

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет - УПИ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» на кафедре «Теоретическая теплотехника».

Научный руководитель: доктор физико-математических наук,
профессор Жилкин Борис Прокопьевич

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,
профессор
Борисов Сергей Федорович

доктор технических наук,
профессор
Семенов Владимир Петрович

Ведущая организация: Институт теплофизики Сибирского
отделения Российской академии наук
им. С.С. Кутателадзе

Защита диссертации состоится 25 июня 2010 г. в 14.00 на заседании диссертационного совета Д 212.285.07 при ГОУ ВПО «Уральский государственный технический университет - УПИ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УГТУ-УПИ) по адресу: г. Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, 5 (8-й учебный корпус УГТУ-УПИ), ауд. Т-703.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке УГТУ-УПИ.

Ваши отзывы в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просим направлять по адресу: 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19, ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, ученому секретарю совета университета.

Тел.: (343) 375-45-74, факс: (343) 347-75-96, (343) 374-38-84, (343) 374-52-14
e-mail: oacy_kis@mail.ru, lta_ugtu@mail.ru

Автореферат разослан «___» мая 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

К.Э. Аронсон

Актуальность темы (проблемы). Газовые струйные течения, в частности газовые импактные струи и факела, широко применяются в различных энергетических технологиях. Исследованию их свойств посвящено большое количество теоретических и экспериментальных работ, базирующихся главным образом на квазистационарном подходе к описанию явлений переноса, включая вопросы образования когерентных структур.

К настоящему времени методические возможности такого описания практически исчерпаны, возникают новые научные направления для формирования представлений о теплообмене в газовых турбулентных потоках. Анализ литературных данных позволяет сделать предположение о том, что на первом этапе такие подходы могут быть основаны на представлении о структурах как целостных динамических системах, отличающихся иррегулярным поведением и имеющих сложную зависимость изменения параметров в пространстве и времени.

Следует предположить, что в газовых течениях возникают и исчезают структуры различного типа, каждая из которых участвует в теплообмене, взаимодействует с другими и эволюционирует по своим закономерностям.

Сведений о таких структурах чрезвычайно мало, необходимо тотальное накопление эмпирической информации. Для решения такой задачи потребуются разработка новых полевых методов исследования, обладающих высоким быстродействием и предполагающих дальнейшую обработку на ЭВМ.

Кроме того, известные полевые методы разработаны главным образом для лабораторных исследований, и их применение в промышленности для управления технологическими агрегатами практически невозможно.

Цель работы в теоретическом аспекте состояла в том, чтобы разработать методику обнаружения структурных образований в газовых потоках на основе мгновенных картин полей характеристик, выявить природу этих структур и понять их вклад в теплообмен.

В практическом плане ставилась задача разработать на основе данных о динамике теплопереноса новую концепцию автоматизированного управления

технологическими процессами, в которых применяются газовые импактные струи и факела.

Объекты исследований. В целях достижения общности создаваемых методов и представлений были выбраны течения газов, заведомо обладающие различными свойствами: прямоточные свободные и импактные струи, низко- и высокотемпературные газовые среды.

Научная новизна основных положений работы заключается в том, что автором впервые:

- разработана полевая методика определения стохастических характеристик температурного поля в газовых потоках;
- разработан и экспериментально подтвержден способ идентификации структурных элементов в газовых потоках в целях понимания механизма теплообмена и управления этим процессом;
- установлено мгновенное распределение локальной плотности теплового потока при теплоотдаче импактных струй;
- показана зависимость изменения во времени интенсивности теплового взаимодействия факела с окружающей средой;
- выявлена возможность управления средними характеристиками теплообмена в газовых потоках путем наложения низкочастотного воздействия;
- разработаны способы управления теплопереносом в потоке для применения в промышленности.

Достоверность результатов основывается на надежности экспериментальных данных, полученных сочетанием независимых методик исследования и подтвержденных воспроизводимостью результатов измерений, их хорошим согласованием на уровне тестовых опытов с данными других авторов, а также применением комплекса современных методов исследования, подбором измерительной аппаратуры, ее систематической поверкой и тарировкой.

Практическая значимость заключается:

- в определении характеристик вариации теплового потока при

теплоотдаче газовых импактных струй, что позволяет оценить влияние этой неустойчивости на микроструктуру обрабатываемых с их помощью технологических поверхностей;

- в разработке методики тепловизионного определения интенсивности теплоотдачи газовых потоков в промышленных условиях, конструктивная реализация которой (установка) защищена патентом РФ;

- в создании методики, позволяющей определять структуру факела, а именно: наличие в нем крупномасштабных вихревых структур в целях дальнейшего управления их характеристиками;

- в создании алгоритма и принципиальной схемы автоматизированного управления процессом факельного сжигания органического топлива в энергетических агрегатах на основе тепловизионного сканирования топочного пространства.

Автор защищает:

- методику определения стохастических характеристик поля температуры в газовых потоках и основанный на этой методике способ идентификации возникающих в них структурных элементов – термических областей;

- результаты изучения свойств структурных элементов, полученные нанесением низкочастотного тестирующего воздействия, создаваемого с помощью пульсирующих воздушных микроструй;

- экспериментальные данные по мгновенному распределению локальной плотности теплового потока в импактных струях в зависимости от параметров струйной системы;

- полученные сведения о вариации теплового взаимодействия факела с окружающей средой;

- концепцию определения структуры факела и его положения в топке энергетического агрегата.

Личный вклад автора состоит в том, что им на основе анализа литературных источников поставлены задачи исследования, разработаны

основные методики, спроектированы и отлажены экспериментальные установки, проведены опыты, обработаны и проанализированы полученные экспериментальные данные, а также предложены пути практической реализации полученных сведений в промышленности.

Реализация работы. Результаты данной диссертационной работы использованы предприятием УралОРГРЭС при разработке метода оптимизации факельного и топочного процессов при наладке котлоагрегатов, при их совершенствовании и реконструкции: в частности, они будут использованы при выполнении проекта реконструкции котельного агрегата БКЗ-160 в целях обеспечения его бесшлаковочной работы при номинальной производительности.

Полученные данные могут быть применены при разработке методики оптимизации характеристик управляющего воздействия на факел при различных режимах работы топочно-горелочных устройств как энергетических, так и промышленных агрегатов.

Апробация работы. Основные результаты исследований, изложенные в диссертации, докладывались и были представлены на: XVII Российской научно-технической конференции с международным участием «Неразрушающий контроль и диагностика» (Екатеринбург, 2005); Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» (Екатеринбург, 2005, 2007); Всероссийской студенческой олимпиаде по энерго- и ресурсосбережению (Екатеринбург, 2005, 2006); четвертой Российской национальной конференции по теплообмену (Москва 2006); Отчетных конференциях молодых ученых Уральского государственного технического университета - УПИ (Екатеринбург, 2006-2008), а также на семинарах в ГУСО Институте энергосбережения (Екатеринбург), Институте теплофизики СО РАН (Новосибирск), ОАО «Уралмаш-инжиниринг» (Екатеринбург).

По теме диссертации опубликовано 7 печатных работ и получен патент РФ на изобретение, в т.ч. **1 статья в журнале, рекомендованном ВАК.**

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, содержащего 118 наименований, и приложений. Она изложена на 183 страницах и снабжена 78 рисунками и 2 таблицами.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснованы выбор направления исследований и его цели, определен круг основных задач исследований, показаны актуальность, научная и практическая значимость решаемых проблем, приведены главные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** содержится аналитический обзор литературных источников, посвященных современным задачам и методам исследования структурных образований в газовых потоках, как низко-, так и высокотемпературных, и установлению их роли в процессах тепломассообмена. Обсуждаются методы обнаружения когерентных структур в газовых потоках, рассматриваются вопросы управления структурообразованием и теплообменом путем нанесения низкочастотных управляющих воздействий. Разбирается вопрос о необходимости быстродействующего оперативного контроля и управления факельными процессами в топках различных агрегатов.

Исходя из анализа литературных источников и учитывая цель работы, были сформулированы следующие задачи исследования:

- 1) разработать полевой метод идентификации термической структуры в воздушных струях и газовых факелах;
- 2) установить основные динамические закономерности поведения структурных элементов в струйных течениях, используя при этом метод тестирования низкочастотным воздействием;
- 3) определить мгновенные характеристики теплообмена и выявить возможность управления этими показателями путем изменения структуры потока;
- 4) разработать применимый в промышленности метод обнаружения крупномасштабных вихревых структур в факеле в целях построения автоматизированной системы управления топочными процессами.

Во **второй** главе рассматриваются вопросы определения термической структуры и закономерности структурообразования в *низкотемпературных газовых импактных струях*, а также *факелах*, возникающих при сжигании газового топлива. При тепловизионном определении температурных полей для низкотемпературных потоков использовался метод термовизуализирующей сетки, для факелов съемка производилась прямым способом. Метод идентификации структур в потоке основывался на анализе распределений *дисперсии* и *частоты пульсации* температуры. Обсуждаются эффекты образования и развития струйных течений.

Исследования импактных *воздушных струй* проводились на установке, изображенной на рис. 1.

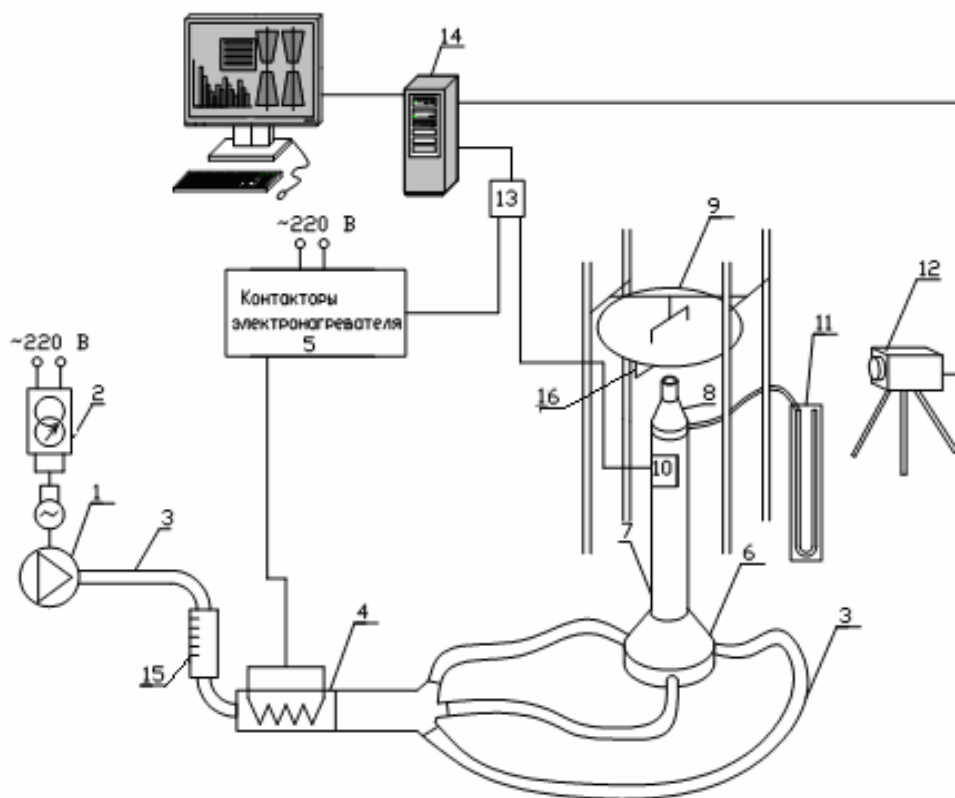


Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки для определения характеристик теплообмена в газовых импактных струях.

- 1 – воздуходувка; 2 – автотрансформатор; 3 – воздуховоды;
- 4 – каналный нагреватель; 5 – шкаф терморегулирования;
- 6 – выравнивающая камера; 7 – участок стабилизации;
- 8 – сменная насадка-сопло; 9 – преграда; 10 – термодатчик; 11 – манометр;
- 12 – тепловизор; 13 – модули ввода-вывода информации;
- 14 – персональный компьютер; 15 – ротаметр

Вид насадок: сопло Витошинского и диафрагма с выходным диаметром отверстий $d = 10$ мм. Параметры струйной системы: скорость потока $w_o = 28..45$ м/с, температура струи $t_{cmp} = 35 \dots 60$ °С, температура окружающей среды $t_o = 18 \dots 22$ °С, расстояние между преградой и соплом $z = (3 \dots 5,5) d$.

На рис. 2 показан вид рабочего участка при установке сопла: ось струи лежит в срединной плоскости сетки, диаметр насадки 6, обеспечивающей одинаковые условия истечения с диафрагмой, равнялся 100 мм.

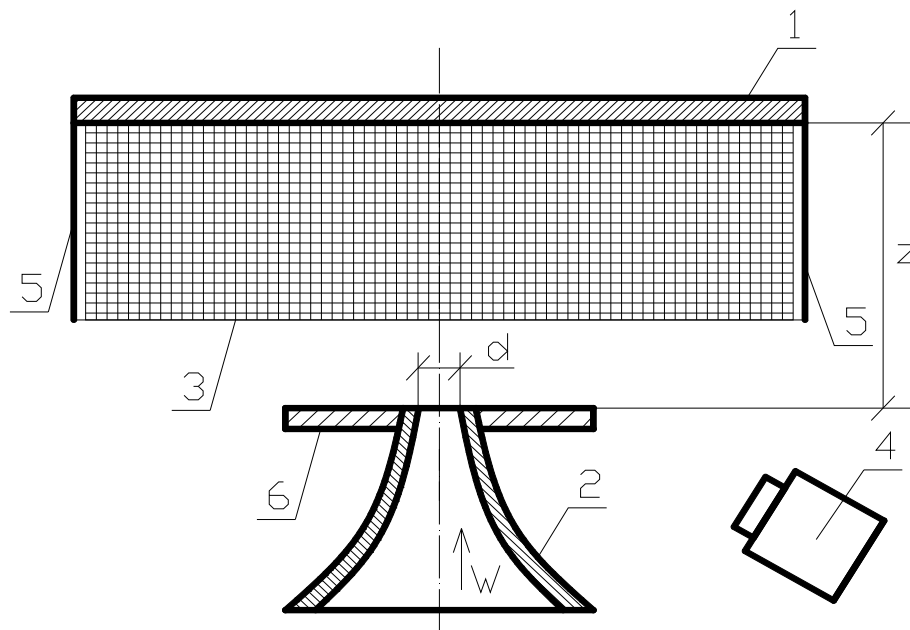


Рис. 2. Вид рабочего участка: 1 – преграда; 2 – сопло;
3 – сетка – преобразователь температуры;
4 – тепловизор; 5 – держатели для сетки; 6 – экранирующая насадка

Описание эксперимента. Снимался тепловизионный фильм с частотой 50 кадров в секунду при помощи тепловизора FLIR S65. Фильм обрабатывался отрезками по 10 секунд, которые представляли собой 3-мерный массив размерностью 240x320x512, где 240x320 – разрешение матрицы тепловизора, а 512 – количество кадров.

Идентификация структур. Под структурой понимался такой элемент (область) в потоке, где контрольный параметр – температура изменялся по единым стохастическим закономерностям. В качестве стохастических характеристик использовались *распределения дисперсии температуры DT* и

частоты f пульсации температуры, которые определялись по нижеследующему алгоритму.

1. Для каждой точки (пикселя) тепловизионной матрицы строился временной ряд, состоящий из 512 элементов (число элементов равнялось количеству кадров тепловизионной съемки).
2. Для каждого ряда определялась *дисперсия*, затем полученные значения сводились в итоговую таблицу размерностью 240x320, и, таким образом, получалось *распределение дисперсии температуры DT* , которое визуализировалось цветом.
3. Эти же временные ряды обрабатывались при помощи процедуры быстрого преобразования Фурье (каждый по отдельности), в результате чего для каждой точки получались графики изменения спектральной плотности мощности вариаций температуры (собственный спектр) $ST(f)$.
4. В каждом спектре определялась характерная частота f_m , соответствующая максимальному значению спектральной плотности ST_m (рис. 3).
5. Как и в случае с распределением дисперсии, полученные значения f_m также сводились в итоговую таблицу, которая визуализировалась цветом;
6. Данная процедура проводилась для каждого 10-секундного отрезка тепловизионного фильма.

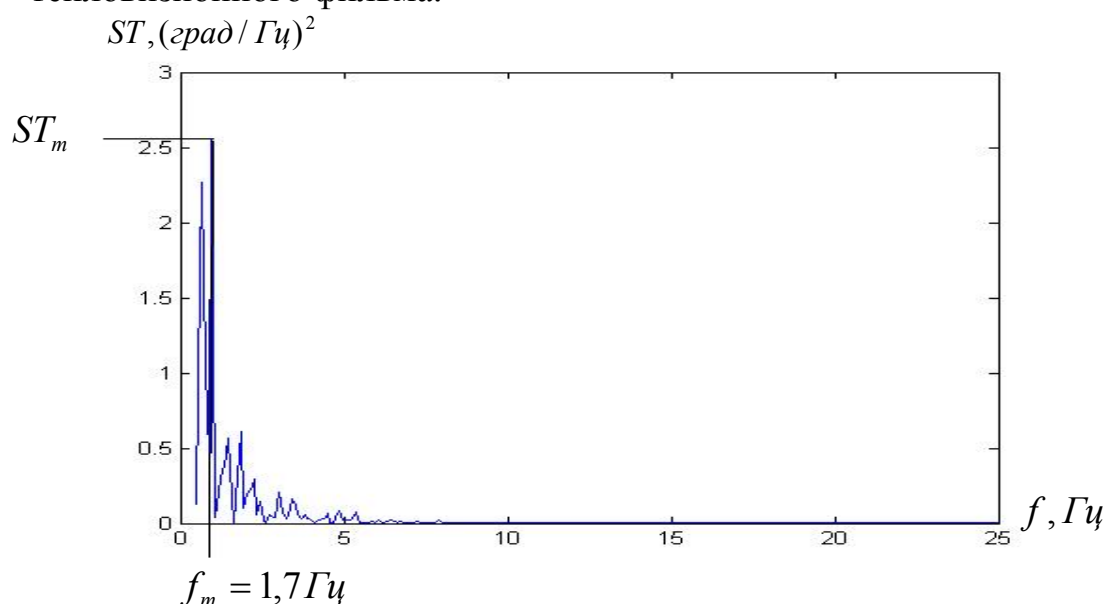


Рис. 3. Определение характерной частоты f_m в собственном спектре ST изменения температуры потока

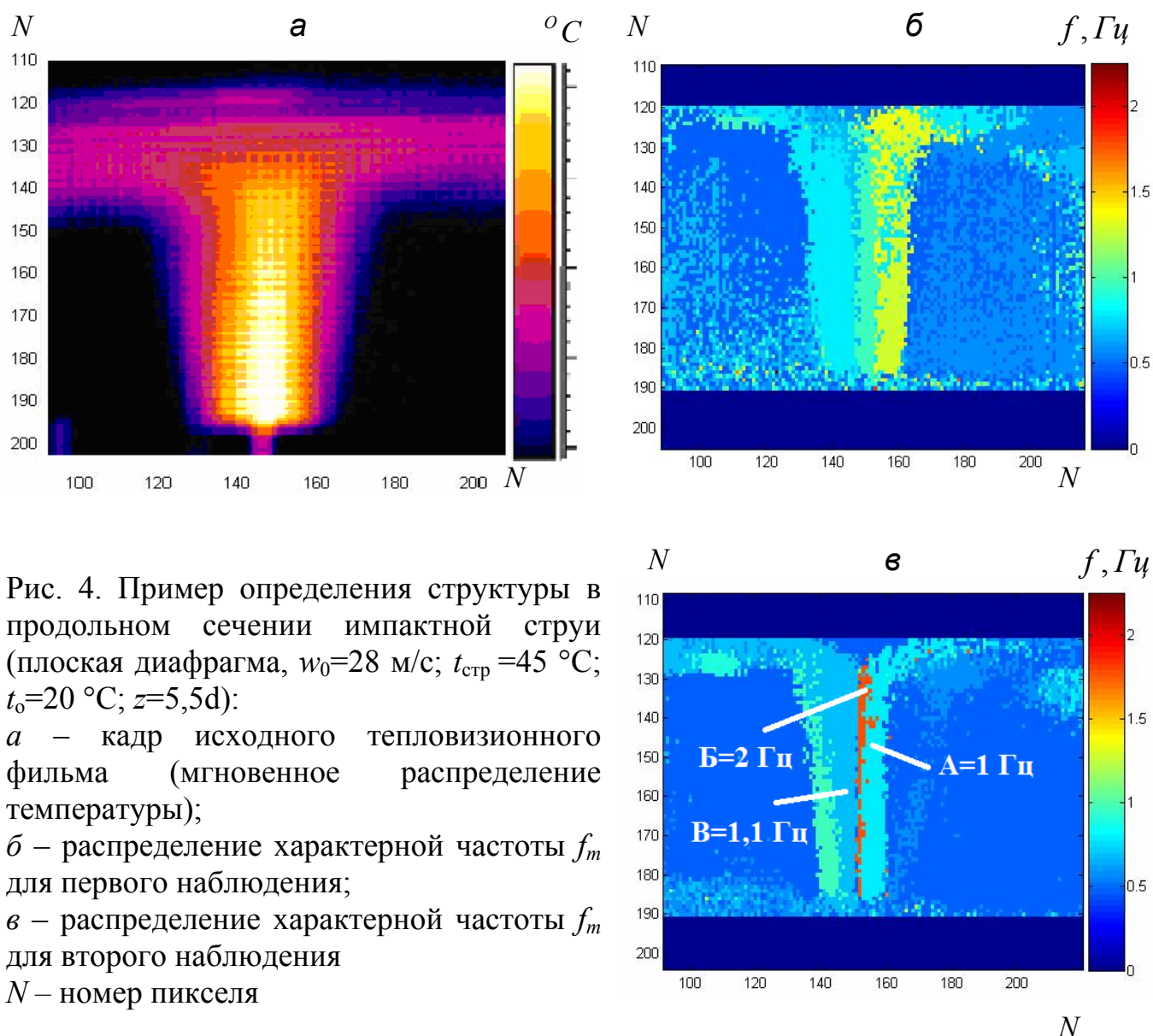


Рис. 4. Пример определения структуры в продольном сечении импактной струи (плоская диафрагма, $w_0=28$ м/с; $t_{\text{стр}}=45$ $^{\circ}\text{C}$; $t_0=20$ $^{\circ}\text{C}$; $z=5,5d$):

а – кадр исходного тепловизионного фильма (мгновенное распределение температуры);

б – распределение характерной частоты f_m для первого наблюдения;

в – распределение характерной частоты f_m для второго наблюдения

N – номер пикселя

На рис. 4,б и 4,в показано, что в струе существуют области, все контрольные точки (пиксели) в которых имеют одинаковое значение частоты пульсации температуры f . Например (рис. 6,в), для всех точек области А характерная частота $f_m=1$ Гц, для Б – $f_m=2$ Гц. Таким образом, было установлено, что в газовой импактной струе наблюдаются различные структурные элементы – термические области.

При изучении высокотемпературных потоков – *факелов*, где в качестве топлива применялась пропан-бутановая смесь, использовалась установка, представленная на рис. 5. Изучались как свободные, так и импактные факела, а также факела, продольно касающиеся поверхности нагрева 4.

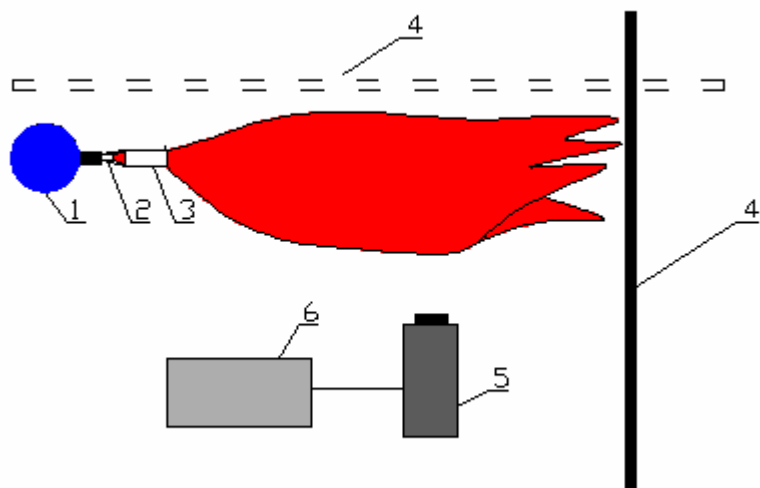
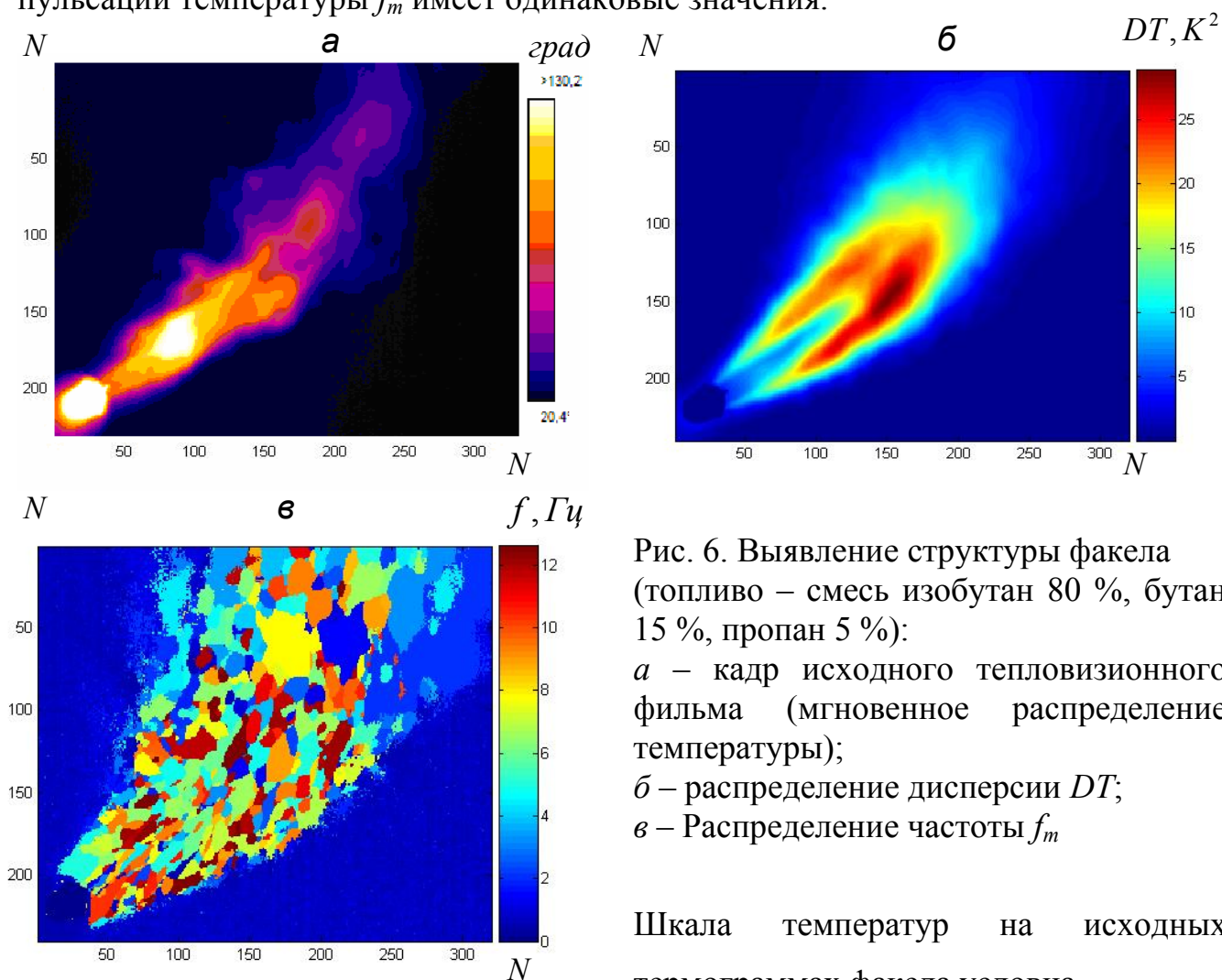


Рис. 5. Схема экспериментальной установки:
 1 – баллон с газовой смесью;
 2 – сопло;
 3 – смеситель;
 4 – поверхность нагрева;
 5 – тепловизионная камера;
 6 – вычислительная машина

Получены следующие картины распределения *дисперсии* (рис. 6,б) и *частоты пульсации* (рис. 6,в) температуры. Из рис. 6,в видно, что в факеле, как и в струе, также обнаружены области, состоящие из пикселей, в которых частота пульсации температуры f_m имеет одинаковые значения.



Таким образом, было установлено, что в факелах, как и в низкотемпературных потоках, возникают иррегулярные структурные образования. В отличие от струй, наблюдается гораздо большее число образований более малых относительных размеров.

В третьей главе рассмотрено определение закономерностей для обнаруженных в потоках структурных областей и обсуждаются их свойства. Анализируя результаты частотной обработки для большого ряда наблюдений, было установлено, что положение структурных областей в потоке, их форма и размеры меняются во времени иррегулярным образом. При этом было обнаружено явление, подобное явлению временной перемежаемости, которое заключается в том, что в одной и той же зоне струйного течения иррегулярным образом появляются и исчезают структурные области. Установлено, что площадь, занимаемая структурным элементом в продольном сечении струи, уменьшается с возрастанием частоты, с которой пульсирует температура в этой области (рис. 7). Также оказалось, что вид собственного спектра пульсаций температуры зависит от положения в потоке структурного образования и при этом величина максимума спектральной плотности мощности снижается по мере удаления по оси контрольной точки от среза струеобразующего аппарата.

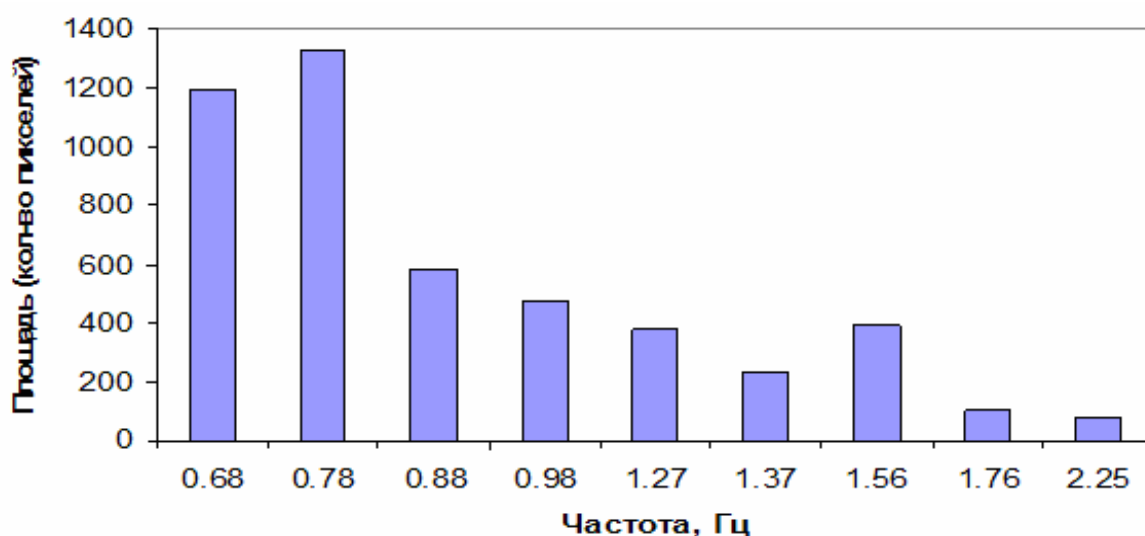


Рис. 7. Гистограмма размера структурной области от частоты пульсаций температуры: плоская диафрагма, $w_0=28$ м/с; $t_c=45$ °C; $t_o=20$ °C; $z^*=5,5d$

Для прямоточных факелов выявлено наличие области с максимальной дисперсией температуры, которая имеет подковообразную форму (рис. 6,б) и расположена в области конвективного взаимодействия факела с окружающей средой. Эксперименты с импактным факелом показали, что при натекании его на поверхность происходит деформация этой подковообразной области максимальной DT , что может быть использовано для установления факта удара факела в поверхность.

Этот эффект деформации затем был использован для построения алгоритма работы (см. раздел главы 5) автоматизированной системы управления топочными процессами в целях предотвращения факта касания факелом поверхности нагрева, что может приводить к ее зашлаковыванию и термическому повреждению.

Для установления природы структурных образований было проведено их тестирование путем нанесения газодинамического частотного воздействия. В качестве *тестирующего воздействия* был выбран вдув пульсирующих микроструй, который осуществлялся через капилляр с внутренним диаметром 1 мм, расположенный по образующей соплового аппарата.

Пульсация расхода воздуха создавалась при помощи электропневматического клапана Festo, управляемого через персональный компьютер. Частота пульсации варьировалась в пределах $f_{ynp}=1-5$ Гц, с шагом 1 Гц. На рис. 8 представлены картины распределения частоты пульсации температуры для экспериментов с воздушной импактной струей, а на рис. 9 – с факелом.

Как видно из рис. 8 и 9, при тестировании сохранилась закономерность, заключающаяся в том, что с увеличением частоты воздействия размер области наведенных структур уменьшается. Вид спектра в различных областях возмущенной струи неодинаков и свидетельствует о том, что различные области дают разные – линейный и нелинейный – отклики на тестирующее воздействие (рис. 10). Различный тип отклика указывает на то, что обсуждаемые структурные образования имеют неодинаковую термогазодинамическую природу.

Следует отметить, что разный тип реакции различных структурных элементов наблюдался при всех опробованных частотах тестирующего воздействия.

Сопоставление вышеизложенных результатов экспериментов по высокотемпературным и низкотемпературным потокам позволяет сделать заключение о том, что в них проявляются две общие термогазодинамические закономерности: тенденция к уменьшению размера структурной области с увеличением частоты, наличие линейного и нелинейного отклика на воздействие.

Примечательно, что в факеле, чем выше частота воздействия, тем больше число зон, дающих нелинейный отклик. Это явление свидетельствует о том, что перестраивается сам механизм факельных процессов.

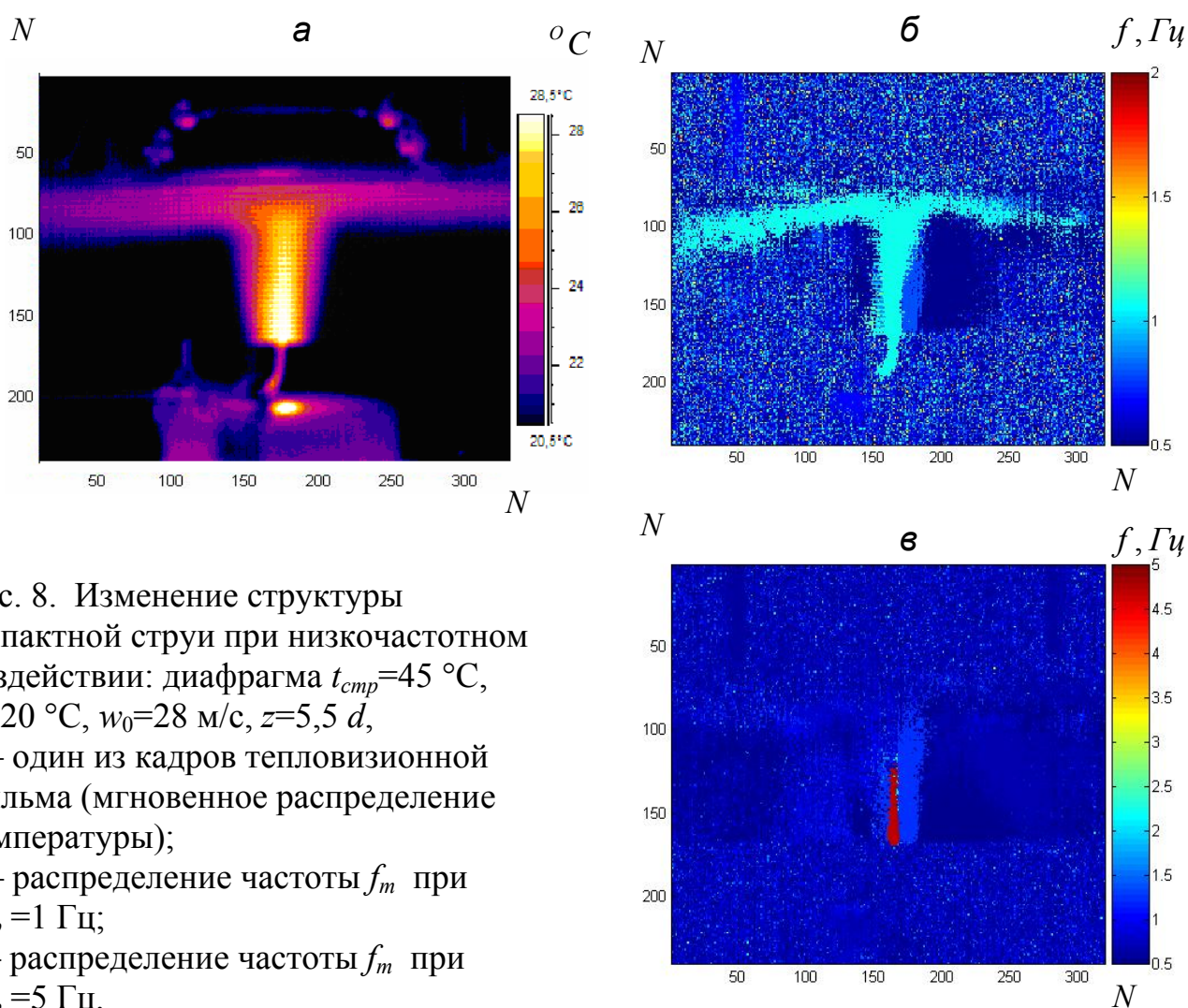


Рис. 8. Изменение структуры импактной струи при низкочастотном воздействии: диафрагма $t_{cmp}=45$ °C, $t_o=20$ °C, $w_0=28$ м/с, $z=5,5$ *d*,
a – один из кадров тепловизионной фильма (мгновенное распределение температуры);
б – распределение частоты f_m при $f_{yup}=1$ Гц;
в – распределение частоты f_m при $f_{yup}=5$ Гц.

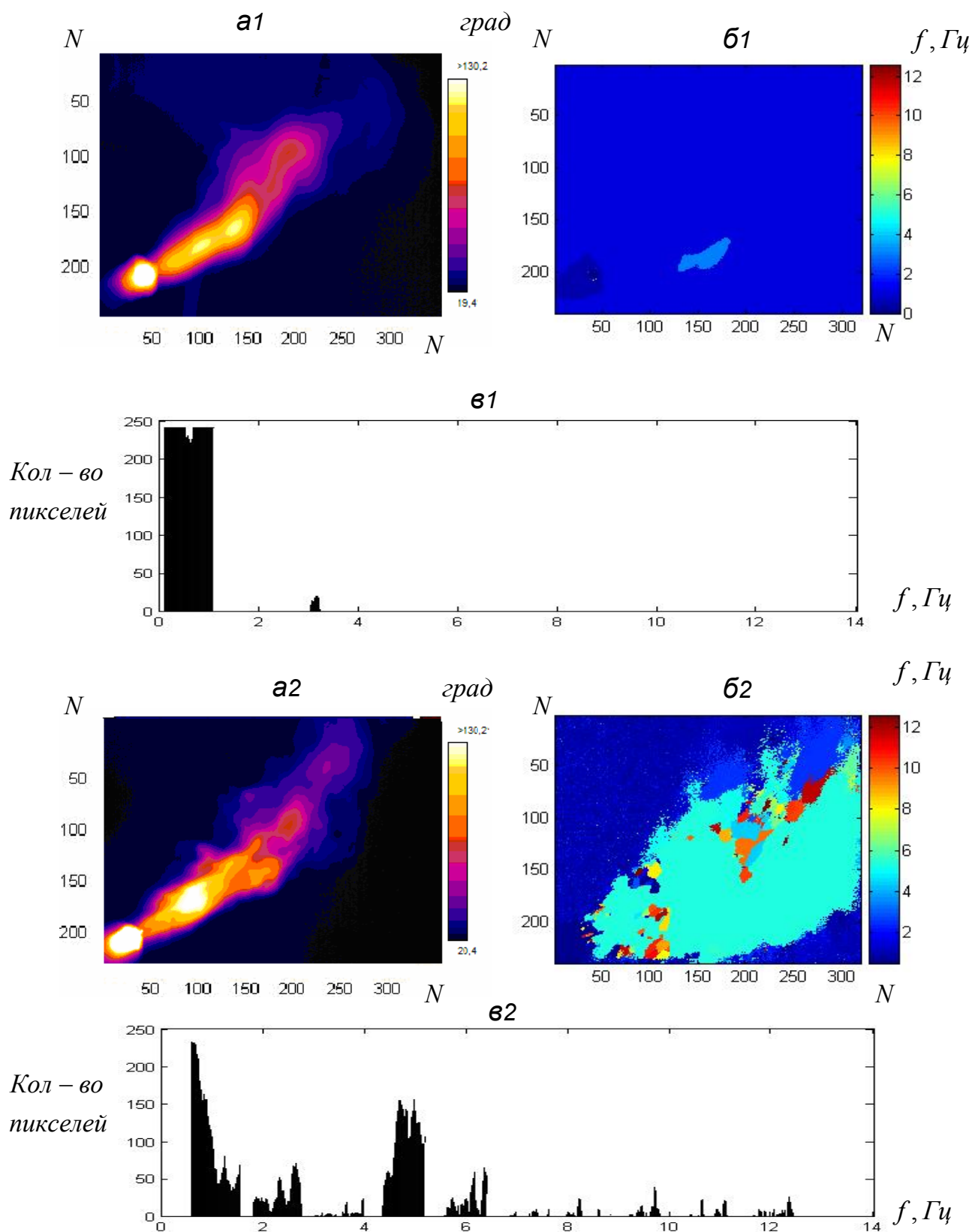


Рис. 9. Изменение структуры факела при низкочастотном воздействии:

- a1* – один из кадров тепловизионной съемки факела при $f_{ynp} = 1$ Гц;
- б1* – распределение частоты f_m при $f_{ynp} = 1$ Гц;
- в1* – гистограмма распределения частот f_m при $f_{ynp} = 1$ Гц;
- a2* – один из кадров тепловизионной съемки факела при $f_{ynp} = 5$ Гц;
- б2* – распределение частоты f_m при $f_{ynp} = 5$ Гц;
- в2* – Гистограмма распределения f_m частот при $f_{ynp} = 4$ Гц

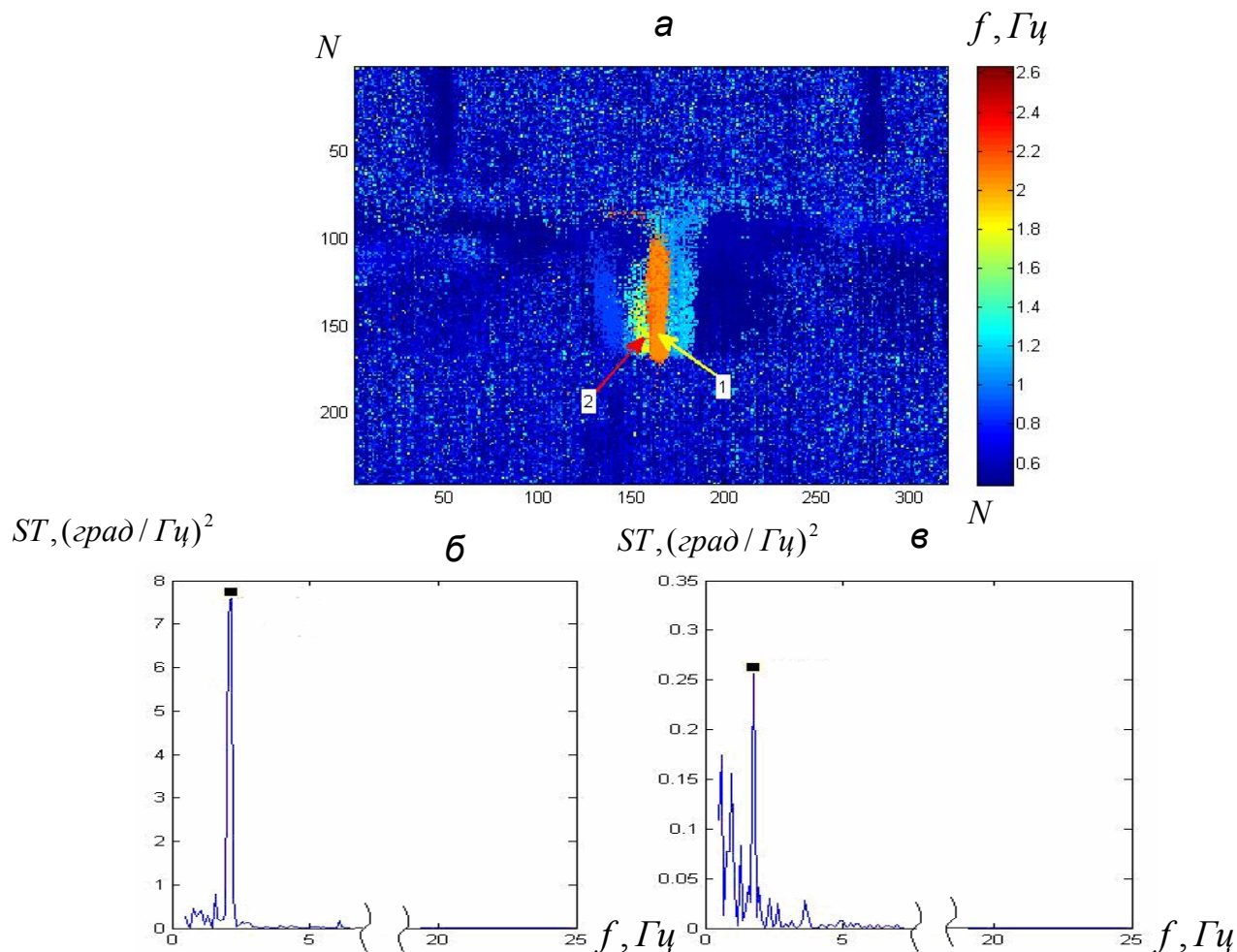


Рис. 10. Распределение частоты f_m (a) и спектры ST возмущенной импактной струи для точек, принадлежащих различным структурным образованиям: 1 (б) и 2 (в). Параметры струйной системы: диафрагма, $z=5,5 d$, $w_0=28$ м/с, $t_{cmp}=45$ °С, $t_o=20$ °С, частота управляющего воздействия $f_{ynp}=2$ Гц

Следует подчеркнуть, что для всех исследованных объектов проявляются общие закономерности структурообразования: зависимость линейного размера от частоты, временная перемежаемость, возможность образования структур разной природы.

Четвертая глава посвящена вопросам тепломассообмена. а также *изучению возможностей управления* интенсивностью теплообмена путем наложения рассмотренного выше низкочастотного воздействия.

В *импактных струях* мгновенное распределение локальной плотности теплового потока $q_r=f(r^*)$, где $r^*=r/d$, определялось на основе закона Био-Фурье, записанного для пристенного слоя газа. При этом для вычисления градиента температуры в контрольной точке на поверхности преграды использовался метод

условной толщины теплового пограничного слоя, предложенный А.В. Лыковым. Такая процедура выполнялась для всех контрольных точек (пикселей) вдоль радиуса преграды с дискретностью 0,8 мм. Период времени, в течение которого снималась термограмма и соответственно к которому относится расчетное распределение теплового потока, составлял 0,02 с.

Был получен принципиальный результат: мгновенное значение локальной плотности теплового потока в течение времени изменяется в довольно широких пределах (до 2 раз в удаленной от критической точки области преграды, рис. 11). Такое поведение, по видимому, связано с тем, что в каждый определенный момент времени то или иное структурное образование определяет интенсивность теплоотдачи в контрольной точке. При этом вид распределения сильно зависел от типа струйного аппарата (рис. 12).

Что касается зависимости от скорости или расстояния до преграды, то в исследованных пределах их изменения форма распределения q_r также претерпевала значительные изменения.

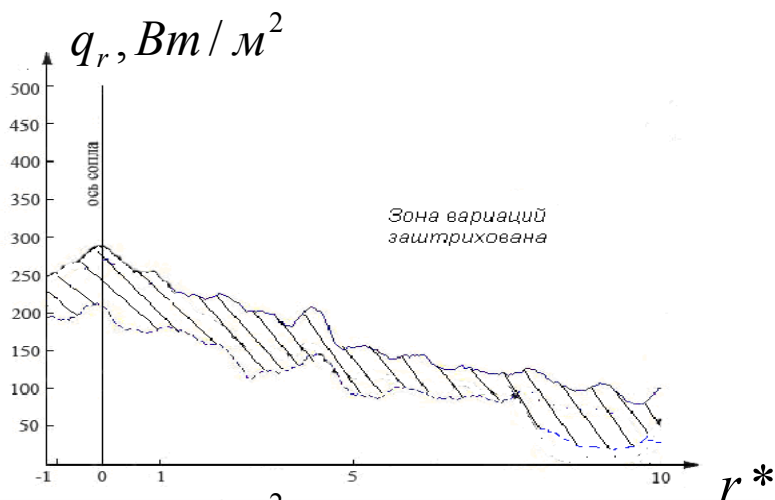


Рис. 11. Вариации во времени мгновенного распределения $q_r = f(r^*)$: сопло Витошинского; $z=5,5d$; $t_{cmp}=45\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_o=20\text{ }^{\circ}\text{C}$; $w_0=28\text{ м/с}$;

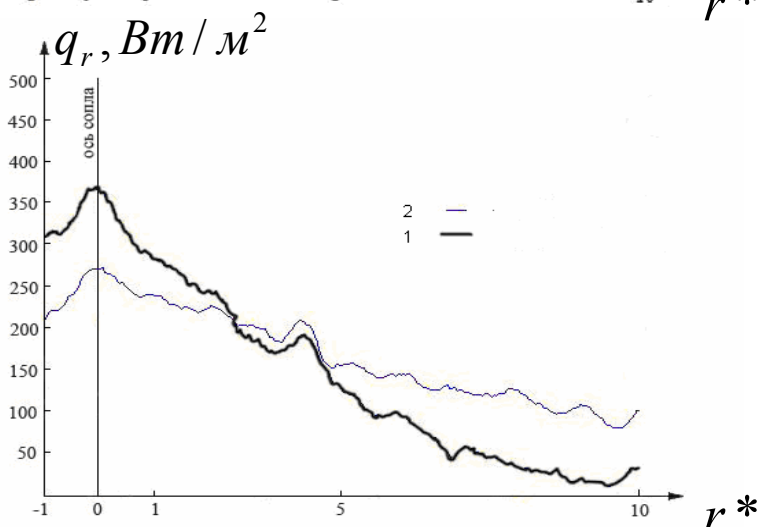


Рис. 12. Зависимости мгновенного распределения $q_r = f(r^*)$ от типа струйного аппарата: 1– диафрагма; 2 – сопло Витошинского; $z=5,5d$; $t_{cmp}=45\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_o=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $w_0=28\text{ м/с}$

Тепловое взаимодействие факела с окружающей средой оценивалось на основе анализа отдельных кадров тепловизионных фильмов. Для количественной оценки интенсивности теплообмена при смешении использовался линейный коэффициент теплового взаимодействия Kl_x , предложенный Б.И. Зыскиным. Было установлено (рис. 13), что величина теплового взаимодействия во времени изменяется в 1,6 раза, что объясняется структурными перестройками, происходящими в факеле.

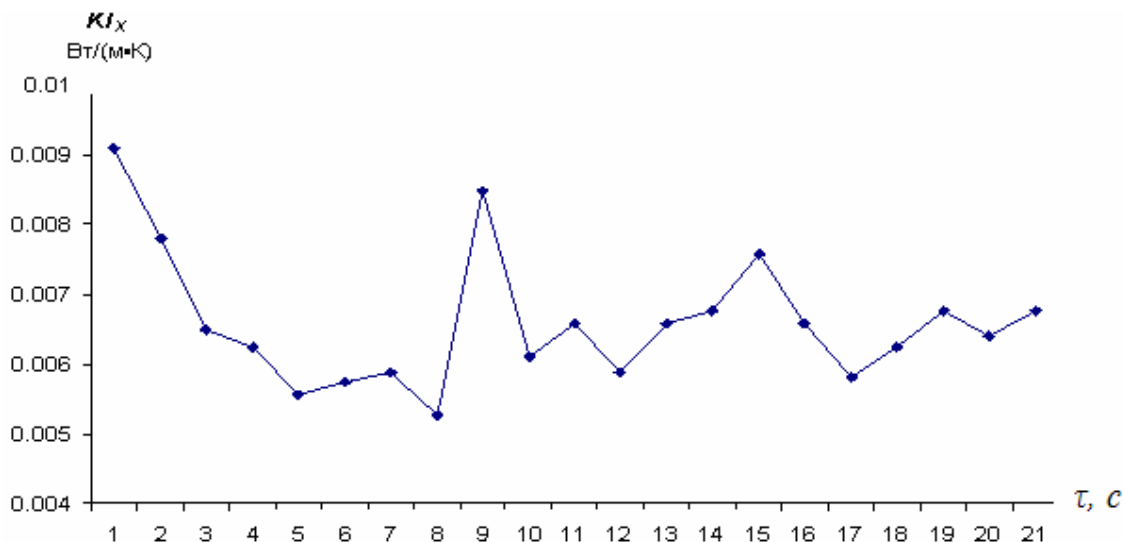


Рис. 13. Изменение интенсивности теплового взаимодействия Kl_x факела с окружающей средой во времени τ

В целях установления возможности управления интенсивностью теплообмена определялись характеристики теплопереноса при нанесении описанного выше низкочастотного воздействия. При этом в импактной струе изменялся вид распределения $q_r=f(r^*)$, а также менялась средняя по времени и радиусу преграды интенсивность теплового потока q_{cp} . Тем самым было установлено, что интенсивность теплового взаимодействия может быть изменена в довольно широких пределах.

На рис. 14 представлены зависимости осредненных по времени и координате тепловых потоков q_{cp} от частоты управляющего воздействия при различных параметрах струйной системы.

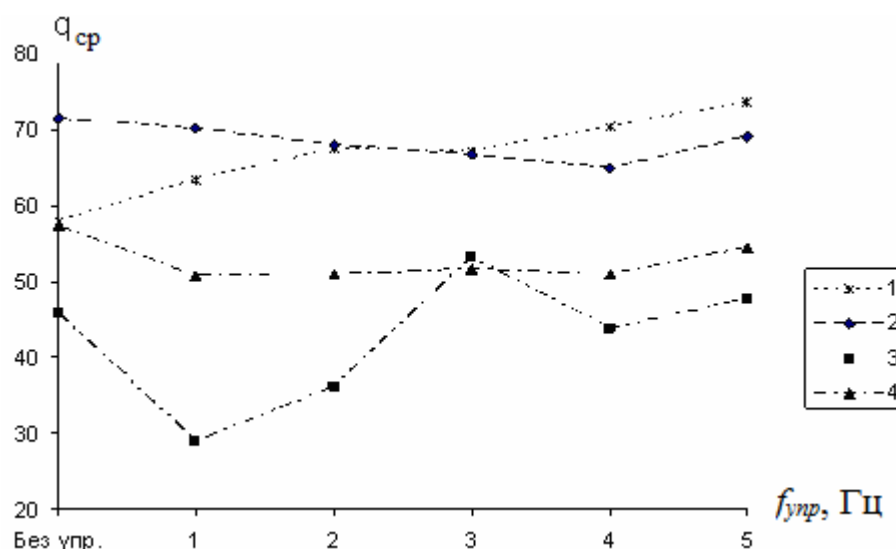


Рис. 14. Зависимость средней плотности теплового потока q_{cp} от частоты f_{ynp} при различных параметрах струйной системы.

Сопло Витошинского: 1 – $t_{cmp}=45\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_o=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $w=45\text{ м/с}$, $z=5,5d$;
 2 – $t_{cmp}=45\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_o=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $w=28\text{ м/с}$, $z=5,5d$;
 3 – $t_{cmp}=45\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_o=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $w=45\text{ м/с}$, $z=3d$;
 4 – $t_{cmp}=45\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_o=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $w=28\text{ м/с}$, $z=3d$

В пятой главе даны практические рекомендации по применению полученных результатов при разработке систем автоматизированного управления различными технологическими процессами.

1. *Сжигание органического топлива в энергетических установках.* В настоящее время наиболее перспективным способом сжигания в целях снижения выбросов NO_x является применение обедненного предварительного перемешивания компонент топлива и воздуха. Однако при этом возникает проблема обнаружения и ликвидации гидродинамической неустойчивости, дестабилизирующей процесс горения и связанной с образованием в факеле крупномасштабных вихревых структур.

Разработан способ использования тепловизионного сканирования топочного пространства в целях выявления упомянутых вихревых структур и подавления негативного влияния этих образований путем нанесения описанного выше низкочастотного воздействия.

Кроме того, описана методика, позволяющая определять по распределению дисперсии температуры положение факела в топке котла на фоне разогретых экранов, управлять его конфигурацией и распределением тепловых потоков.

2. Для управления процессами термообработки в крупных технологических агрегатах разработана установка для определения характеристик теплоотдачи в тяжелых промышленных условиях (в качестве примера приводится охлаждение металлической полосы при прокате), конструктивное исполнение которой защищено патентом РФ. При этом тепловизионную технику предполагается использовать для осуществления процессов наладки и поверки.

На основе закономерностей, представленных в четвертой главе, предлагается использовать данную установку для управления процессами обработки поверхностей различных материалов в условиях, когда применение тепловизора затруднено.

Для всех перечисленных выше методов прописаны алгоритмы обработки информации и управления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ литературных данных и комплекс проведенных исследований позволяют сделать вывод о перспективности использования разработанной полевой методики для определения стохастических характеристик температурного поля газовых потоков и идентификации на этой основе их термической структуры, а также для разработки методов воздействия на структурообразование в целях управления интенсивностью тепло- и массообмена.

Получены следующие основные результаты:

1. Разработан полевой метод определения термической структуры газовых потоков, позволяющий выявить в них термические области – структурные элементы, применимый как для низко-, так и для высокотемпературных течений.

2. Обнаружен эффект, подобный явлению временной перемежаемости в газовых турбулентных потоках, который заключается в том, что положение в потоке, форма и размеры структурных элементов меняются во времени иррегулярным образом.

3. Выявлено, что размеры отдельной структурной области уменьшаются с возрастанием частоты пульсации контрольного параметра (температуры).

4. Путем нанесения тестирующего воздействия с помощью пульсирующих микроструй было показано, что структурные элементы, образующиеся в струях и факелах, имеют разную природу, поскольку, судя по виду спектра, наблюдаются разные, а именно линейный и нелинейный, отклики на тестирующее воздействие.

5. Установлена возможность управления средним значением плотности теплового потока при теплоотдаче в импактных струях вследствие изменения структуры течения путем нанесения низкочастотных воздействий.

6. На основе полученных сведений была разработана промышленная методика установления границ факела на фоне технологической поверхности и распознавания его внутренней структуры, на основе которой создана концепция автоматизированной системы управления.

7. Для системы автоматизированного управления теплообменом между газовым потоком и технологической поверхностью была разработана установка для определения характеристик теплоотдачи, конструктивное исполнение которой защищено патентом РФ.

Основное содержание диссертации изложено в следующих работах:

1. Тепловизионная идентификация турбулентных структур в газовых потоках/ Б.П. Жилкин, Н.С. Зайков, А.Ю. Кисельников, В.Ю. Миренский, П.Ю. Худяков// Приборы и техника эксперимента. 2010. №1. С. 155-158

2. Ефимова А.В. О повышении точности тепловизионных обследований/ А.В. Ефимова, Б.П. Жилкин, А.Ю. Кисельников// Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки студентов, аспирантов и молодых ученых, 6-9 декабря 2005 г. Екатеринбург, 2005. С. 52-55.

3. Локальные характеристики теплоотдачи газовых импактных струй/ Б.П. Жилкин, А.В. Зайцев, А.Ю. Кисельников, В.В. Шавкунов// Четвертая российская национальная конференция по теплообмену. М: Издательский дом МЭИ, 2006. Т.2. С 109.

4. Кисельников А.Ю. Автоматизированная методика измерения тепловых потоков/ А.Ю. Кисельников, В.В. Шавкунов, Б.П. Жилкин// Научные труды X отчетной конференции молодых ученых ГОУ ВПО УГТУ-УПИ: сборник статей. Екатеринбург, 2006. С. 297-302.

5. Кисельников А.Ю. Определение газодинамических и тепловых характеристик газовых импактных струй с помощью автоматизированной установки/ А.Ю. Кисельников, В.В. Шавкунов, Б.П. Жилкин//Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки студентов, аспирантов и молодых ученых, 19-22 декабря 2006 г. Екатеринбург, 2007. С. 96-98.

6. Кисельников А.Ю. Тепловизионное определение полей турбулентности в газовых импактных струях/ А.Ю. Кисельников, Н.С. Зайков, Б.П. Жилкин //Научные труды XIV отчетной конференции молодых ученых УГТУ-УПИ: сборник статей. Екатеринбург, 2008. С. 413-417.

7. О применении тепловизионного сканирования с целью управления топочными процессами/ Н.Н. Акифьева, Б.П. Жилкин, Н.С. Зайков, А.Ю. Кисельников, В.Ю. Миренский.//Автоматизация в промышленности. 2009. №7. С. 20-24.

8. Патент 2361184 С2 RU МПК G01K 17/00. Установка для определения характеристик теплоотдачи/ Беляев В.С., Богатова Т.Ф., Ефимова А.В., Жилкин Б.П., Зайцев А. В., Кисельников А.Ю., Нецветаев С.А./ Заявл. 22.08.2005 г. № 2005126587/28 опубл. 10.07.2009 г. Бюл. № 19.

Подписано в печать 22.04.2010

Формат 60x84 1/16

Бумага писчая

Плоская печать

Усл. печ. л. 1,34

Уч. –изд. л. 1,12

Тираж 100

Заказ

Ризография НИЧ ГОУ ВПО УГТУ-УПИ

620002, Екатеринбург, ул. Мира, 19